



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Veröffentlichungsnummer: **0 614 867 A2**

12

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: **94103272.4**

Int. Cl.⁵: **C07C 43/13, H01L 39/24**

Anmeldetag: **04.03.94**

Priorität: **11.03.93 DE 4307663**

D-65929 Frankfurt am Main (DE)

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
14.09.94 Patentblatt 94/37

Erfinder: **Herrmann, Anton Wolfgang, Prof. Dr.**
Gartenstrasse 69

Benannte Vertragsstaaten:
DE FR GB IT

D-85354 Freising (DE)

Erfinder: **Huber, Norbert, DCh.**

Anmelder: **HOECHST AKTIENGESELLSCHAFT**
Brüningstrasse 50

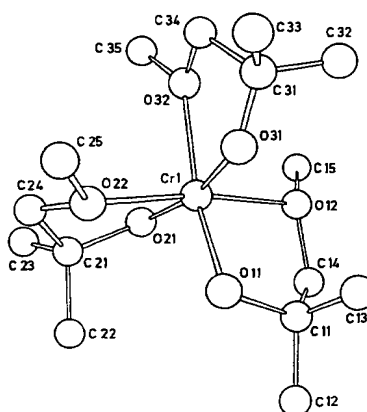
Rosengasse 13

D-85386 Dietersheim (DE)

Flüchtige Metall-alkoholate bifunktioneller beta-Etheralkohole, Verfahren zu deren Herstellung und ihre Verwendung.

Flüchtige Komplexverbindungen der allgemeinen Formel $M[O-CR^1R^2-CH_2-O-CH_3]_n$, bei denen R^1 und R^2 unabhängig voneinander Methyl oder eine vollständig fluoriierte Alkylgruppe mit 1 bis 9 C-Atomen, M ein Metall oder Halbmetall der Gruppen 1, 2 oder 4 bis 15 des Periodensystems der Elemente oder Uran oder Thorium und die Wertigkeit n des Metalls oder Halbmetalls 1, 2, 3 oder 4 beträgt, werden hergestellt, indem man β -Etheralkohole der allgemeinen Formel $HO-CR^1R^2-CH_2OCH_3$ mit homoleptischen Metall-Amiden in einem aprotischen organischen Lösungsmittel umsetzt. Die Erfindung betrifft auch die Verwendung der Komplexverbindungen als molekulare Vorstufen zur Gasphasen-Abscheidung von Metallen und Metalloxiden.

Einkristall-Röntgenstrukturanalyse des
Chrom(III)-alkoholats der Formel
 $Cr(O-C(CH_3)_2-CH_2OCH_3)_3$



Typische Bindungsabstände: Cr-O(11) 189.2(2) pm
Cr-O(12) 205.1(2) pm
Cr-O(21) 192.3(2) pm

Typische Bindungswinkel: O(21)-Cr-O(11) 99.14(9) Grad
O(31)-Cr-O(12) 99.23(8) Grad

EP 0 614 867 A2

Die vorliegende Erfindung betrifft die Herstellung von homoleptischen Metall-alkoholaten hoher Flüchtigkeit.

Unter der Bezeichnung homoleptische Metallkomplexe sollen im Zusammenhang mit der Erfindung solche metallorganischen Verbindungen verstanden werden, bei denen jedes Metallatom nur eine einzige Ligandensorte pro Formeleinheit enthält. Die erfindungsgemäßen Metall-alkoholate eignen sich als Vorstufen für die chemische Abscheidung von Metalloxiden aus der Gasphase ("CVD-Verfahren" = Chemical-Vapour-Deposition).

Metall-alkoxide, auch Metall-alkoholate genannt, werden in der Literatur als Ausgangsverbindungen für oxidische Materialien in CVD-Verfahren beschrieben (siehe Bradley, Chem. Rev., (1989) Bd. 89, S. 1317-1322). Allerdings wird selten darauf hingewiesen, daß die allermeisten Metall-alkoholate für CVD-Zwecke nicht flüchtig genug sind. Dieser Nachteil ist auf die für gewöhnlich oligomeren oder polymeren Molekülstrukturen der Metall-alkoholate zurückzuführen, die sich ihrerseits aus der strukturellen Brückenbildungseigung von Alkoholatliganden sowie der Tendenz der meisten Metalle zur Ausbildung hoher Koordinationszahlen ergeben. Metallkomplexe einfacher, d.h. monofunktioneller Alkohole sind in den Wertigkeitsstufen $n = 1$ bis 4 fast immer oligomer und polymer und deshalb wenig flüchtig oder unflüchtig. Beispiele sind die Chrom-, Bismut-, Blei- und Zinn-Komplexe $M(OR)_n$ mit $R = CH_3, C_2H_5, n-C_3H_7$; und $M = Cr, Bi, Pb, Sn$, (vgl. D.C. Bradley, A.G. Mehrotra, D.P. Gaur, "Metal Alkoxides", Academic Press, New York 1978, S. 43-74).

Zur Verbesserung der Flüchtigkeit homoleptischer Metall-alkoholate hat es nicht an Konzepten und Versuchen gefehlt. Die Flüchtigkeit ist bei Molekülverbindungen um so größer, je kleiner die Molmasse und um so geringer die intermolekularen Wechselwirkungen in der (Kristall-)Gitterpackung sind. Man hat deshalb in Metallkomplexen vom Typ $M(OR)_n$ mit $M = \text{Metall}$, $n = \text{Wertigkeitsstufe des Metalls}$ und $R = \text{organischer Rest}$ den Substituenten R vergrößert, um dadurch die Tendenz zur Oligomerisierung herabzusetzen. Dieses Ziel wurde zwar in einigen Fällen erreicht, doch sind auch für den als Idealfall geltenden Substituenten $R = \text{tert.-Butyl } (C_4H_9)$ die Flüchtigkeiten nicht groß genug, oder aber die Verbindungen sind bei den für die Sublimation erforderlichen Temperaturen nicht mehr thermodynamisch stabil. So zersetzt sich beispielsweise $Cr(O^iC_4H_9)_3$ beim Erhitzen im Vakuum in die homoleptischen Cr^{II} - und Cr^{IV} -Komplexe, von denen ersterer wiederum polymer und unflüchtig ist, d.h. im Sublimationsrückstand verbleibt, vgl. D.C. Bradley et al. (siehe oben), S. 37.

Ein weiterer häufig versuchter Ansatz besteht darin, daß man chelatisierende Alkoholat-Liganden vom Typ β -Etheralkohol und β -Aminoalkohol der Formeln $-O-CH_2-CH_2-OR$ beziehungsweise $-O-CH_2-CH_2NR_2$ verwendet. Diese Liganden haben den Vorteil, daß sie im Prinzip über das Ether-Sauerstoffatom und das Amin-Stickstoffatom die Koordinationsphäre des Metallions effizienter absättigen können als einfache Alkoholate $-OR$. Es zeigte sich jedoch, daß entweder die monomere Konstitution ("einkernige Metall-alkoholate") und/oder die erwünschte Flüchtigkeit nicht erreicht wird (siehe: S.G. Goel et al., Inorg. Chem., Jg. 1990, Bd. 29, S. 4640 bis 4646).

Ein typisches Beispiel für das Versagen dieses Konzepts ist der in der Literatur bekannte Bismut(III)-Komplex der Formel $Bi(OCH_2CH_2OCH_3)_3$. Dieser Komplex läßt sich bis zu seiner Zersetzungstemperatur auch unter Hochvakuum-Bedingungen nicht in die Dampfphase überführen. Somit scheidet er für die Herstellung oxidischer Bismutverbindungen aus der Gasphase nach dem CVD-Verfahren aus. Nur Kupfer(II)-Komplexe $Cu(OCH_2CH_2NR_2)_2$ ($R = -CH_3, -C_2H_5$) sind monomer und flüchtig (vgl. S.G. Goel et al., Polyhedron, Jg. 1990, Bd. 9, S. 611-613). Aber auch von Kupfer(II) sind die β -Etheralkoholate $Cu(OCH_2CH_2OR)_2$ nicht flüchtig, weil sie polymere Strukturen haben, vgl. S.G. Goel, obiges Zitat.

Es wurde unlängst gezeigt, daß man zu sehr hohen Koordinationszahlen neigende Metallionen, insbesondere zweiwertiges Barium, durch mehrfunktionelle Tertiäralkohole in eine hinreichend flüchtige Form bringen kann, vgl. DE-A-42 37 522. Die dort verwendeten Alkoholatliganden sind für Metallionen in den Oxidationsstufen drei und höher allerdings nicht geeignet.

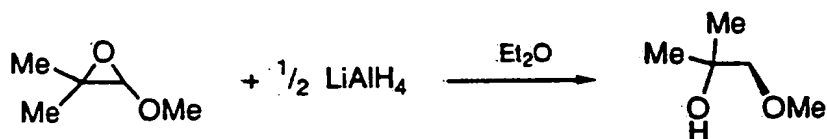
Es bestand deshalb die Aufgabe, Metall-alkoholat-komplexe mit Metallionen der Wertigkeitsstufen 1, 2, 3 und 4 zu entwickeln, die flüchtig, gleichzeitig aber thermisch hinreichend stabil sind, mit dem Ziel, diese Metallkomplexe unzersetzt in die Gasphase zu transferieren und dann aus der Gasphase entweder das freie Metall selbst oder als oxidische Schichten des Metalls auf Substraten nach dem CVD-Verfahren herzustellen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch flüchtige Komplexverbindungen der allgemeinen Formel $M[O-CR^1R^2-CH_2-O-CH_3]_n$, wobei R^1 und R^2 unabhängig voneinander Methyl oder eine vollständig fluoriierte Alkylgruppe mit 1 bis 9 C-Atomen, M ein Metall oder Halbmetall der Gruppen 1, 2 oder 4 bis 15 des Periodensystems der Elemente oder Uran oder Thorium und die Wertigkeit n des Metalls oder Halbmetalls 1, 2, 3 oder 4 beträgt.

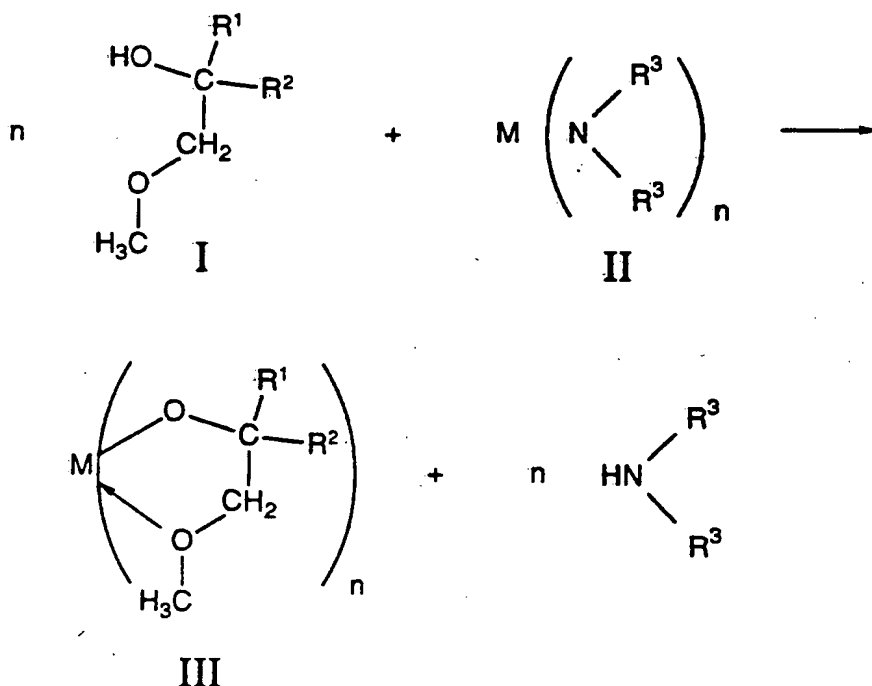
Es wurde überraschend gefunden, daß die in der Komplexchemie mitunter verwendeten β -Etheralkohole, die als solche nicht zu hinreichend flüchtigen Metall-alkoholaten führen, unter der Bedingung besonders flüchtige Metallkomplexe ergeben, wenn dieser Ligandentypus an dem Kohlenstoffatom, das die Hydroxylgruppe trägt, mit Methylgruppen oder vollständig fluoriierte Alkylgruppen substituiert ist und wenn die Etherfunktion am anderen Ende des Liganden eine Methylgruppe aufweist.

Im einzelnen wird die Kettenlänge der Alkylgruppen aber so aufeinander abgestimmt, daß die Flüchtigkeit der resultierenden Metall-alkoholate optimiert ist. Insbesondere sind wegen der geringstmöglichen Molmasse die Liganden $\text{HO-C(CH}_3)_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_3$ und $\text{HO-C(CF}_3)_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_3$ bevorzugt.

Den erstgenannten Liganden synthetisiert man durch die nachfolgend aufgezeigte Route ausgehend von einem handelsüblichen Epoxid.



Die β -Etheralkohole lassen sich leicht zu den neuen Metall-alkoholaten umsetzen. Dazu läßt man die β -Etheralkohole, vorzugsweise mit den homoleptischen Metallamiden der allgemeinen Formel $\text{M}[\text{NR}^3]_n$ gemäß dem nachfolgend dargestellten Reaktionsmuster reagieren, wobei R^3 einen einfachen Alkylrest mit 1 bis 4 C-Atomen, insbesondere Methyl, oder Di- oder Trialkylsilyl mit einer Alkylgruppe mit 1 bis 8 C-Atomen, M ein Metall oder Halbmetall aus den Gruppen 1, 2 und 4 bis 15 des Periodensystems der Elemente und n die Metallwertigkeit mit den Zahlenwerten 1, 2, 3 oder 4 darstellt.



Es zeigt sich nun, daß insbesondere die richtige Wahl der Substituenten R^1 und R^2 zu Metallkomplexen unerwartet hoher Flüchtigkeit führt, verglichen mit den teils literaturbekannten Grundverbindungen mit $\text{R}^1 = \text{R}^2 = \text{H}$.

Die vorstehend beschriebenen β -Etheralkohole ergeben außergewöhnlich flüchtige Metall-alkoholate. Letztere eignen sich als molekulare Vorstufen zur Gasphasen-Abscheidung von Metallen oder Metalloxiden,

beispielsweise für Kontaktmetallisierungsschichten und für Beschichtungen mit Oxidkeramiken.

Durch die nachfolgenden Ausführungsbeispiele soll die Erfindung noch deutlicher beschrieben werden, ohne auf die konkret dargestellten Ausführungsformen beschränkt zu sein. Im Rahmen der Beispiele wurden alle Arbeiten in ausgeheizten Glasapparaturen unter absolut strengem Ausschluß von Luft und Feuchtigkeit durchgeführt (Glovebox- und Vacuumline-Techniken). Zur Herstellung der Metallamid-Vorstufen II verfährt man wie in der Literatur beschrieben, muß aber auf absolute Trockenheit der Metallhalogenid-Einsatzstoffe achten. Das Bismut(III)-amid der Formel $\text{Bi}\{\text{N}[\text{Si}(\text{CH}_3)_2]_2\}_3$ war zwar literaturbekannt, wurde aber synthesechemisch optimiert, so daß es jetzt als bequem zugängliche Startverbindung in der Bismutchemie gelten kann. Abb. 1 zeigt die monomolekulare Struktur des Chromalkoxids $\text{Cr}[\text{-OC}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{-O-CH}_3]_3$ wie sie sich aus einer Einkristall-Röntgenstrukturanalyse ergibt.

Es ist überraschend, daß der einfachste β -Etheralkohol $\text{HO-CH}_2\text{CH}_2\text{-O-CH}_3$ mit keinem Metall monomere Chelatkomplexe bildet. Das Konzept der β -ständigen Alkoxygruppen allein löst also das Struktur/Flüchtigkeits-Problem von Alkoholat-Komplexen nicht. Auch erreicht der von Buhro et al. beschriebene (siehe W.E. Buhro et al., Inorg. Chem., Bd. 29 (1990), S. 358-360) Aminoalkoholat-Ligand $\text{-O-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2$ nicht die diesbezüglich günstigen Eigenschaften der erfindungsgemäßen Liganden. So ist der Bismutkomplex $\text{Bi}[\text{-O-CH}(\text{CH}_3)\text{-CH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_2]_3$ wesentlich schlechter flüchtig ($90^\circ\text{C}/10^{-4}$ Torr; vergl. Buhro et al., wie oben zitiert) als der hier beschriebene Komplex $(\text{Bi}[\text{-O-C}(\text{CH}_3)_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_3]_3) (\leq 25^\circ\text{C}/10^{-4}$ Torr). Außerdem ist der letztgenannte Komplex wie alle anderen im Rahmen der Erfindung beschriebenen Alkoholat-Komplexe rückstandsfrei sublimierbar.

Beispiel 1

Herstellung von 1-Methoxy-2-methyl-2-propanol

Route a:

Zu 0,50 mol Methylmagnesiumiodid in 170 ml Diethylether werden bei 0°C 19,8 ml (Δ 0,20 mol) Methoxyessigsäure-methylester in 150 ml Diethylether über eine Zeitspanne von 30 min zugegeben. Nach 15 h Rühren wird der Ansatz auf 50 g Eis gegossen. Danach wird soviel gesättigte wäßrige NH_4Cl -Lösung zugegeben, bis sich gerade der ganze Niederschlag löst. Die organische Phase wird mit 30 ml gesättigter NaHCO_3 -Lösung und zweimal mit Eiswasser gewaschen. Die vereinigten Wasserphasen werden mit Ether gewaschen. Danach wird die organische Phase über MgSO_4 getrocknet. Fraktionierte Destillation bei 62 bis $63^\circ\text{C}/100$ bis 107 Torr ergibt 10,2 g 1-Methoxy-2-methyl-2-propanol (Δ 49 % Ausbeute).

Route b (vergl. Formelschema):

Zu 55 ml (Δ 220 mmol) einer 4-molaren Lösung von $\text{Li}[\text{AlH}_4]$ in Diethylether wird bei 0°C 36,98 g (Δ 362 mmol) 2,2-Dimethyl-1-methoxyethylenoxid in 60 ml Diethylether über einen Zeitraum von 30 min zugetropft. Nach 20 h Rühren wird der Ansatz auf 250 g Eis gegossen. Danach wird wie bei Variante a aufgearbeitet. Fraktionierte Destillation bei 62 bis $63^\circ\text{C}/100$ - 107 Torr ergibt 16,7 g 1-Methoxy-2-methyl-2-propanol (Δ 44 % Ausbeute).

Die chemische Elementaranalyse ergab für die Verbindung mit der Summenformel $\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}_2$ (MG = 104,15) folgendes Ergebnis:

Berechnet:	C = 57,66	H = 11,61
Gefunden:	C = 57,58	H = 11,48.

Beispiel 2

Herstellung von $\text{Tris}[1\text{-methoxy-2-methyl-2-propanolato}]\text{chrom(III)}$: Zu einer Lösung von 0,75 g (Δ 2,13 mmol) $\text{Cr}[\text{N}(\text{i-C}_3\text{H}_7)_2]_3$ in 40 ml n-Hexan wird bei -30°C eine Menge von 0,67 g (Δ 6,39 mmol) 1-Methoxy-2-methyl-2-propanol zugetropft. Anschließend wird über eine Zeit von 16 h bei einer Temperatur von 25°C gerührt. Das Lösungsmittel wird im Vakuum entfernt. Das dunkelgrüne Produkt wird bei 60 bis $65^\circ\text{C}/1,5$ Torr sublimiert. Daraus resultierten 0,80 g $\text{Tris}[1\text{-methoxy-2-methyl-2-propanolato}]\text{chrom(III)}$ (Δ 97 % Ausbeute).

5	Die chemische Elementaranalyse ergab für die Verbindung mit der Summenformel $C_{15}H_{33}CrO_6$ (MG = 361,42) folgendes Ergebnis:		
	Berechnet:	C = 49,85	H = 9,20
	Gefunden:	C = 49,71	H = 8,97.

Beispiel 3

10 Tris[1-methoxy-2-methyl-2-propanolato]bismut(III)

Variante a:

15 Zu einer Lösung von 2,86 g (Δ 4,14 mmol) $Bi[N(i-C_3H_7)_2]_3$ in 40 ml Diethylether werden bei $-30^\circ C$ 1,29 g (Δ 12,42 mmol) $HOCMe_2CH_2OMe$ (Δ 12,42 mmol) zugetropft. Anschließend wird über eine Zeit von 2 d bei $25^\circ C$ gerührt. Nach Eindampfen der Reaktionslösung im Hochvakuum werden circa 5 ml n-Pentan aufkondensiert und das weiße Produkt bei $-30^\circ C$ kristallisiert. Die Ausbeute beträgt 1,83 g (Δ 85 %). Die Verbindung sublimiert zügig bei $60^\circ C/10^{-2}$ Torr.

20 Variante b:

25 Zu einer Lösung von 7,93 g (Δ 43,2 mmol) $Na[N(SiMe_3)_2]$ in 25 ml Diethylether werden bei $-78^\circ C$ 5,09 g (Δ 48,8 mmol) $HOCMe_2CH_2OMe$ über eine Zeitspanne von 15 min zugegeben. Man läßt dann 15 h bei $25^\circ C$ rühren. Die Lösungsmittel werden anschließend im Hochvakuum entfernt. Daraufhin gibt man bei $-196^\circ C$ zur zähen Masse 4,38 g $BiCl_3$ (Δ 13,9 mmol) und 140 ml THF zu und läßt noch 20 h bei $25^\circ C$ rühren. Nach Eindampfen im Hochvakuum wird aus dem Rückstand das weiße, mikrokristalline Produkt bei $60^\circ C/10^{-2}$ Torr heraussublimiert. Die Ausbeute beträgt 5,12 g (Δ 71 %).

30	Die chemische Elementaranalyse ergab für die Verbindung mit der Summenformel $C_{15}H_{33}BiO_6$ (MG = 518,40) folgendes Ergebnis:		
	Berechnet:	C = 34,75	H = 6,42
	Gefunden:	C = 34,61	H = 6,30.

35

Beispiel 4

Bis[1-methoxy-2-methyl-2-propanolato]zinn(II)

40

Zu einer Lösung von 2,32 g (Δ 5,27 mmol) $Sn[N(SiMe_3)_2]_2$ in 30 ml THF werden bei $-30^\circ C$ 1,10g $HOCMe_2CH_2OMe$ (Δ 10,6 mmol) zugetropft. Anschließend wird über eine Zeit von 48 h bei $25^\circ C$ gerührt. Die Lösungsmittel werden im Hochvakuum entfernt. Das weiße Produkt sublimiert man bei $70^\circ C/1,5$ Torr. Die Ausbeute beträgt 1,46 g (Δ 85 %).

45

50	Die chemische Elementaranalyse ergab für die Verbindung mit der Summenformel $C_{10}H_{22}SnO_4$ (MG = 324,97) folgendes Ergebnis:		
	Berechnet:	C = 36,96	H = 6,82
	Gefunden:	C = 36,71	H = 6,49.

Beispiel 5

55 Bis[1-methoxy-2-methyl-2-propanolato]blei(II)

Zu 2,27 g (Δ 4,31 mmol) $Pb[N(SiMe_3)_2]_2$ in 40 ml Pentan wird bei $-78^\circ C$ innerhalb von 1 h 1,8 g $HOCMe_2CH_2OMe$ (Δ 17,2 mmol) in 10 ml Pentan zugetropft. Anschließend wird über eine Zeit von 48 h bei

Raumtemperatur gerührt. Das Lösungsmittel und überschüssiger Alkohol werden im Hochvakuum entfernt, etwa 5 ml Pentan aufkondensiert und das weiße Produkt bei -30°C kristallisiert. Es läßt sich bei 60 bis $80^{\circ}\text{C}/10^{-2}$ Torr sublimieren.

Die chemische Elementaranalyse ergab für die Verbindung mit der Summenformel $\text{C}_{10}\text{H}_{22}\text{PbO}_4$ (MG = 413,47) folgendes Ergebnis:

Berechnet:	C = 29,05	H = 5,36
Gefunden:	C = 28,32	H = 5,08.

Beispiel 6

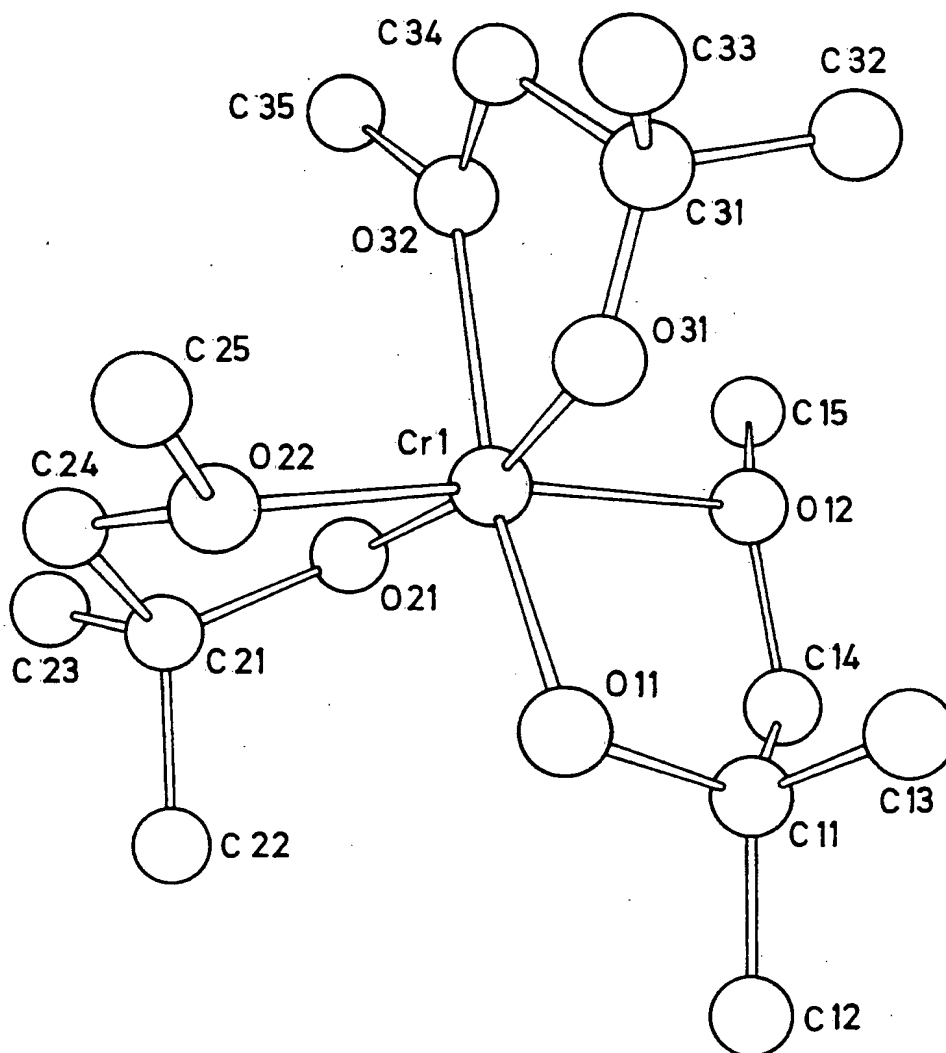
Bis[1-methoxy-2-methyl-2-propanolato]kupfer(II)

Zu 6,86 g (Δ 58,1 mmol) 1-Methoxy-2-methyl-2-propanol in 30 ml Benzol wird 1,59 g (Δ 12,7 mmol) reines in Substanz isoliertes Bis(methoxy)kupfer, hergestellt aus Kupferdichlorid und Lithiummethanolat in Methanol, zugegeben. Anschließend wird die Suspension über eine Zeit von 4 h unter Rückfluß gekocht und das entstehende Methanol während der Reaktion azeotrop abdestilliert. Verbleibendes Lösungsmittel wird im Hochvakuum entfernt, wonach ein moosgrüner Rückstand von 2,86 g des Produktes Bis[1-methoxy-2-methyl-2-propanolato]Kupfer(II) (Δ 78 %) erhalten wird. Das Produkt kann bei $80^{\circ}\text{C}/10^{-2}$ Torr sublimiert werden.

Patentansprüche

- Flüchtige Komplexverbindung der allgemeinen Formel $\text{M}[\text{O}-\text{CR}^1\text{R}^2-\text{CH}_2-\text{O}-\text{CH}_3]_n$ (III), wobei R^1 und R^2 unabhängig voneinander Methyl oder eine vollständig fluoriierte Alkylgruppe mit 1 bis 9 C-Atomen, M ein Metall oder Halbmetall der Gruppen 1, 2 oder 4 bis 15 des Periodensystems der Elemente oder Uran oder Thorium und die Wertigkeit n des Metalls oder Halbmetalls 1, 2, 3 oder 4 beträgt.
- Komplexverbindung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß $n = 2$ und M Calcium, Blei, Kupfer oder Zinn bedeutet.
- Komplexverbindung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß $n = 3$ ist und M Aluminium, Thallium, Bismut, Chrom oder Eisen bedeutet.
- Komplexverbindung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß $n = 4$ ist und M Uran oder Thorium bedeutet.
- Komplexverbindung gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die vollständig fluoriierte Alkylgruppe R^1 oder R^2 maximal 6 C-Atome enthält.
- Verfahren zur Herstellung einer flüchtigen Komplexverbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß man β -Etheralkohole der allgemeinen Formel $\text{HO}-\text{CR}^1\text{R}^2-\text{CH}_2\text{OCH}_3$ (I) mit homoleptischen Metall-Amiden der allgemeinen Formel $\text{M}[\text{NR}^3]_n$ in einem aprotischen organischen Lösungsmittel umsetzt, wobei R^3 einen Alkylrest mit 1 bis 4 C-Atomen, insbesondere Methyl, oder Dialkylsilyl- oder Trialkylsilyl-Rest mit einer Alkylgruppe mit 1 bis 8 C-Atomen darstellt und M, R^1 und R^2 die in Anspruch 1 angegebene Bedeutung haben.
- Verwendung von flüchtigen Komplexverbindungen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, hergestellt nach Anspruch 6, als molekulare Vorstufen zur Gasphasen-Abscheidung von Metallen und Metalloxiden, beispielsweise für Beschichtungen mit Reinstmetallen, insbesondere zur Kontaktmetallisierung, oder mit Oxidkeramiken.

**Einkristall-Röntgenstrukturanalyse des
Chrom(III)-alkoholats der Formel
 $\text{Cr}-(\text{O}-\text{C}(\text{CH}_3)_2 \text{CH}_2\text{OCH}_3)_3$**



Typische Bindungsabstände: Cr-O(11) 189 2(2) pm
Cr-O(12) 205.1(2) pm
Cr-O(21) 192.3(2) pm

Typische Bindungswinkel: O(21)-Cr-O(11) 99.14(9) Grad
O(31)-Cr-O(12) 99.23(8) Grad